

## 明 細 書

### 圧縮機のインペラ

### 技術分野

[0001] 本発明は遠心圧縮機や斜流圧縮機のインペラ、たとえば航空用ガスタービン、船用過給機、自動車用過給機などに用いられる遠心圧縮機や斜流圧縮機のインペラに関するものである。

### 背景技術

[0002] 従来、遠心圧縮機や斜流圧縮機に用いられるインペラのハブ表面についてはあまり注目して研究がなされておらず、インペラのハブ表面上に工夫が施されるというようなことは今までなかった(たとえば、特許文献1参照)。

特許文献1:特開昭55-35173号公報

### 発明の開示

[0003] そこで、本出願の発明者らは、回転するインペラのハブ面に注目して研究を進めることとし、その結果、ハブ面上で次のような現象が起きていることがわかってきた。

たとえば、図14(a)に示す遠心圧縮機のインペラ100では、インペラ入口部101から流入した流れに、インペラ100のブレード11により回転軸線C周りの旋回速度が与えられる際、この流れに遠心力F1が作用することとなる。この遠心力F1はハブ面12cに対して垂直な方向およびこの垂直な方向と直交する方向に分けることができ、ハブ面12cに対して垂直な方向に作用する力F2は、流れをハブ面12cから剥がす方向に作用しており、これにより、流れの境界層が拡大して(あるいはひどい場合にはハブ面近傍で流れが逆流したり、流れがハブ面12cから剥離して)、インペラ内部の損失が増加し、遠心圧縮機100の効率の低下を招いているということがわかってきた。

なお、インペラ出口部102では遠心力F1の方向とハブ面12c接線の方向とが一致する(すなわち、ハブ面に対して垂直な方向に作用する力F2は0(零)となる)ので、流れをハブ面12cから剥がす方向に作用する力はなくなる。

また、図において符号12, 12a, 12b, LE, TE, およびBはそれぞれ、ハブ、ハブ

の小径部、ハブの大径部、ブレード11の前縁、ブレード11の後縁、および境界層の拡大が特に著しい領域(すなわち、境界層の厚みが著しく増加する領域)を示している。

[0004] また、図14(b)に示す斜流圧縮機のインペラ200でも同様の現象が起きており、特に斜流圧縮機では、流れをハブ面12cから剥がそうとする力F2が、ハブ面12cが傾斜するインペラ出口部102まで作用するため、インペラ出口部102まで境界層拡大による流速歪みが残し、インペラ出口部102での損失が増加し、斜流圧縮機200の効率の低下を招いているということがわかってきた。

[0005] 本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、ハブの表面に発生する境界層の局部集中を防止するとともに境界層の厚みを低減させることにより、圧縮機の高効率化を図ることを目的とする。

[0006] 本発明は、上記課題を解決するため、以下の手段を採用した。

本発明による圧縮機のインペラは、複数枚のブレードと、これら複数枚のブレードの根元部に配置されるハブとを有し、流体が流れる前記ハブの表面の少なくとも一部が回転軸線に対して傾斜した圧縮機のインペラであって、前記ハブの表面に、流体の流れにより生じる境界層の厚みを低減させる境界層低減部が設けられている。

このような圧縮機のインペラによれば、ハブの表面(ハブ面)に設けられた境界層低減部によりハブの表面に形成される境界層の局部集中が防止されるとともに、境界層低減部を有していないインペラよりも境界層の厚みが減少することとなる。

[0007] 本発明による圧縮機のインペラは、前記境界層低減部が、流体の流れに作用する遠心力が流体の流れを前記ハブの表面から剥がす方向に作用する部位に設けられていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、比較的大きな遠心力が作用するとともに、インペラの回転軸線に対して傾斜角を有するハブの表面、すなわち、インペラの回転軸線からある程度の距離を有する傾斜したハブの表面上に境界層低減部が設けられていることが好ましい。

[0008] 本発明による圧縮機のインペラは、前記境界層低減部が、当該インペラの入口端から出口端までの長さの、インペラの入口端から約1/4の位置よりも下流側に設けら

れていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、インペラの入口端から所定距離離間した位置に境界層低減部の始点が位置することとなる。すなわち、インペラの入口端から下流側にかけて暫くの間、境界層低減部は設けられていないことになる。

[0009] 本発明による圧縮機のインペラは、前記境界層低減部が、前記ハブの表面に対して垂直方向に突出する凸部として形成されていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、ハブの表面に対して垂直な方向に作用する力(F2)によって、凸部の表面にハブの表面からブレード間に形成された流路に向かう流れ(以下、「2次流れ」という)が発生することとなる。ハブの表面あるいは凸部の表面に形成された境界層は、この2次流れによりブレード間に形成された流路の方に移動していくとともに、この流路を流れる主流に引きずられて(吸引されて)この主流とともに下流側に運び去られることとなる。

[0010] 本発明による圧縮機のインペラは、前記凸部が、前記ブレード間において前記ブレードの翼面に沿って形成された少なくとも一本の小翼として設けられていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、主流の流れを妨げることなくかつ損失の発生が最小限となるように形成された、上記凸部よりも大きな表面積を有する小翼の表面上に2次流れが発生することとなり、ハブの表面あるいは小翼の表面に形成された境界層が、流路を流れる主流によってより多く下流側に運ばれていく。

[0011] 本発明による圧縮機のインペラは、前記小翼の高さが、前記ブレードの高さの約1/10〜約1/2に設定されていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、小翼の先端が流体の主流中に入り込む格好となるので、小翼の表面に生じた2次流れが、ブレード間を通過する主流内に確実に効果的に導かれ、境界層の厚みがより低減されることとなる。

[0012] 本発明による圧縮機のインペラは、前記小翼間の最大距離が、前記ハブの表面に、流体の流れにより生じる境界層の厚みの2倍よりも大きくなるように設定されていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、小翼と小翼との間隔が、流体の流れによりハ

ブの表面に生じる境界層の厚みの2倍よりも大きくなるように形成されており、小翼と小翼との間を流体の主流が通過するようになるので、小翼の表面に生じた2次流れと流体の主流との合流が促進され、境界層の厚みがより一層低減されることとなる。

- [0013] 本発明による圧縮機のインペラは、遠心圧縮機のインペラであり、前記境界層低減部が、前記ハブ面に対して垂直な方向に作用する力がゼロとなる位置まで設けられていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、境界層低減部が、流体の流れに作用する遠心力が流体の流れを前記ハブの表面から剥がす方向に作用する部位、すなわち、当該インペラの入口端から出口端までの長さの、インペラの入口端から約1/4の位置から、ハブ面に対して垂直な方向に作用する力がゼロとなる位置まで設けられており、これによりハブ面近くに形成された境界層の厚みが、ハブ面の全体にわたって低減される。

- [0014] 本発明による圧縮機のインペラは、前記境界層低減部が、前記ハブ面に対して垂直な方向に作用する力がゼロとなる位置からさらに下流側にも延設されていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、境界層低減部が、ハブ面に対して垂直な方向に作用する力がゼロとなる位置からさらに下流側に延長して設けられているので、この延長された境界層低減部に沿って境界層がインペラの半径方向外側に放出され、境界層の厚みがさらに低減される。

- [0015] 本発明による圧縮機のインペラは、前記境界層低減部が、当該インペラの出口端まで設けられていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、境界層低減部が、インペラ出口端まで延長して設けられているので、この延長された境界層低減部に沿って境界層がインペラの半径方向外側に放出され、境界層の厚みがより一層低減される。

また、境界層低減部のインペラ出口端から流出した流体は、下流側に設けられたディフューザに最短距離で到達することとなるので、遠心圧縮機全体における流体の流速歪みによる損失が低減される。

- [0016] 本発明による圧縮機のインペラは、斜流圧縮機のインペラであり、前記境界層拡大

防止部が、当該インペラの出口端まで設けられていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、境界層低減部が、流体の流れに作用する遠心力が流体の流れを前記ハブの表面から剥がす方向に作用する部位、すなわち、当該インペラの入口端から出口端までの長さの、インペラの入口端から約1/4の位置から、インペラの出口端まで設けられており、これによりハブ面近くに形成された境界層の厚みが、ハブ面の全体にわたって低減される。

- [0017] 本発明による圧縮機のインペラは、複数枚のブレードと、これら複数枚のブレードの根元部に配置されるハブとを有し、流体が流れる前記ハブの表面の少なくとも一部が回転軸線に対して傾斜した圧縮機のインペラであって、前記ハブの表面に、流体の流れにより生じる境界層の拡大を防止する境界層拡大防止部が設けられたものであっても良い。

このような圧縮機のインペラによれば、ハブの表面(ハブ面)に設けられた境界層拡大防止部によりハブの表面に形成される境界層の拡大が防止され、境界層拡大防止部を有していないインペラよりも境界層の厚みが減少することとなる。

なお、流体が流れるハブの表面の少なくとも一部が回転軸線に対して傾斜したインペラを具備する圧縮機としては、遠心圧縮機および斜流圧縮機がある。

- [0018] 本発明による圧縮機のインペラは、前記境界層拡大防止部が、流体の流れに作用する遠心力が流体の流れを前記ハブの表面から剥がす方向に作用する部位に設けられていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、比較的大きな遠心力が作用するとともに、インペラの回転軸線に対して傾斜角を有するハブの表面、すなわち、インペラの回転軸線からある程度の距離を有する傾斜したハブの表面上に境界層拡大防止部が設けられている。

- [0019] 本発明による圧縮機のインペラは、前記境界層拡大防止部が、当該インペラの入口端から出口端までの長さの、インペラの入口端から約1/4の位置よりも下流側に設けられていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、インペラの入口端から所定距離離間した位置に境界層拡大防止部の始点が位置することとなる。すなわち、インペラの入口端か

ら下流側にかけて暫くの間、境界層拡大防止部は設けられていないことになる。

[0020] 本発明による圧縮機のインペラは、前記境界層低減部は、複数本の溝からなることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れが溝の山部を越えて隣接する溝の谷部に流れ込んだり、あるいは溝の山部を越えて隣接する溝の上方に向けて斜めに進んでいったりすることとなり、ハブ面近くの流れが乱されることとなる。

[0021] 本発明による圧縮機のインペラは、前記複数本の溝が、前記ブレード間において前記ブレードの翼面に沿って直線状に形成されていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れが溝の山部を越えて隣接する溝の谷部に流れ込んだり、あるいは溝の山部を越えて隣接する溝の上方に向けて斜めに進んでいったりすることとなり、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れに乱れが生じ、境界層の拡大または流れの剥離が防止される。

[0022] 本発明による圧縮機のインペラは、前記直線状の溝が、上流側から下流側にかけて複数の領域に分割されていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れが溝の山部を越えて隣接する溝の谷部に流れ込んだり、あるいは溝の山部を越えて隣接する溝の上方に向けて斜めに進んでいったりすることとなり、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れに乱れが生じ、境界層の拡大または流れの剥離が防止される。

[0023] 本発明による圧縮機のインペラは、前記複数本の溝が、前記ブレード間において平面視波形に形成されていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、溝の山部を越えて隣接する溝の谷部に流れ込んだり、あるいは溝の山部を越えて隣接する溝の上方に向けて斜めに進む流れの方向と、溝の山部とのなす角がより大きくなる部分ができるため、その部分ではハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れにより強い乱れが生じて、境界層の拡大または流れの剥離がより防止されることとなる。

[0024] 本発明による圧縮機のインペラは、前記複数本の溝が、前記ブレード間において平面鋸歯形に形成されていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、溝の山部を越えて隣接する溝の谷部に流れ込んだり、あるいは溝の山部を越えて隣接する溝の上方に向けて斜めに進む流れの方向と、溝の山部とのなす角がより大きくなる部分ができるとともに、このような部分をより多く形成させることができるので、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れにより強い乱れが生じて、境界層の拡大または流れの剥離がより一層防止されることとなる。

- [0025] 本発明による圧縮機のインペラは、前記複数本の溝が、前記ブレード間において一側のブレードから他側のブレードにかけて流路を斜めに横切るように形成された複数本の溝と、これら溝と交差するように形成されるとともに、他側のブレードから一側のブレードにかけて流路を斜めに横切るように形成された複数本の溝とからなることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、複数個の突起が形成されることとなり、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れがこれら突起に衝突したり、あるいはこれら突起を越えて隣接する溝の谷部に流れ込んだり、あるいはこれら突起を越えて隣接する溝の上方に向けて斜めに進んでいったりすることとなり、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れに乱れが生じ、境界層の拡大または流れの剥離が防止される。

- [0026] 本発明による圧縮機のインペラは、前記複数本の溝が、前記ブレード間において当該インペラの回転軸線を中心とする同心円上に形成されていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れのすべてが溝の山部を越えて隣接する溝の谷部に流れ込んだり、あるいは溝の山部を越えて隣接する溝の上方に向けて斜めに進んでいったりすることとなり、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れにより強い乱れが生じて、境界層の拡大または流れの剥離が防止される。

- [0027] 本発明による圧縮機のインペラは、前記境界層低減部は、複数個の凹凸からなることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れがこれら凸部に衝突したり、あるいはこれら凸部を越えて隣接する凹部に流れ込んだり、あるいはこれら凸部を越えて隣接する凸部や凹部の上方に向けて斜めに進んでいっ

たりすることとなり、ハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れに乱れが生じ、境界層の拡大または流れの剥離が防止される。

[0028] 本発明による圧縮機のインペラは、前記複数個の凹凸はそれぞれ、平面視円形に形成されていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、ハブ面に容易に加工することのできる半球状の凹凸が形成されている。

[0029] 本発明による圧縮機のインペラは、前記溝又は凹凸の最大深さが、好ましくは当該インペラの外径の0.3%以上2.0%以下、より好ましくは0.5%以上2.0%以下である。

このような圧縮機のインペラによれば、たとえば、インペラの外径が100mmのものであれば、溝の最大深さが0.3mm～2.0mm、好ましくは0.5mm～2.0mmで形成されることとなり、削り加工によって作り出されたインペラのハブ面に残る加工跡の溝(一般的にインペラの外径の0.2%程度の幅と最大深さを有するもの)よりも深くかつ幅の広い溝が形成される。

[0030] 本発明による圧縮機のインペラは、遠心圧縮機のインペラであり、前記境界層拡大防止部が、前記ハブ面に対して垂直な方向に作用する力がゼロとなる位置まで設けられていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、境界層拡大防止部が、流体の流れに作用する遠心力が流体の流れを前記ハブの表面から剥がす方向に作用する部位、すなわち、当該インペラの入口端から出口端までの長さの、インペラの入口端から約1/4の位置から、ハブ面に対して垂直な方向に作用する力がゼロとなる位置まで設けられており、これによりハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れに乱れが生じ、境界層の拡大または流れの剥離がハブ面の全体にわたって防止される。

[0031] 本発明による圧縮機のインペラは、斜流圧縮機のインペラであり、前記境界層拡大防止部が、当該インペラの出口端まで設けられていることが好ましい。

このような圧縮機のインペラによれば、境界層拡大防止部が、流体の流れに作用する遠心力が流体の流れを前記ハブの表面から剥がす方向に作用する部位、すなわち、当該インペラの入口端から出口端までの長さの、インペラの入口端から約1/4



の位置から、出口端まで設けられており、これによりハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れに乱れが生じ、境界層の拡大または流れの剥離がハブ面の全体にわたって防止される。

[0032] 本発明による圧縮機は、上記インペラのいずれか一つを具備してなる。

このような圧縮機によれば、ハブの表面に発生する境界層の局部集中が防止するとともに、境界層の厚みを低減する境界層低減部が設けられたインペラ、またはハブの表面に形成される境界層の拡大を防止する境界層拡大防止部を有するインペラが具備されている。

[0033] 本発明によれば、以下の効果を奏する。

境界層低減部によりハブの表面に発生する境界層の局部集中を防止することができるとともに、境界層の厚みを低減させることができる。

また、境界層低減部が設けられたインペラを採用することにより、境界層の局部集中を防止することができるとともに、境界層の厚みを低減させることができ、インペラ内部の損失を低減させることができ、圧縮機の圧縮効率の向上を図ることができる。

境界層拡大防止部によりハブ面近くをハブ面に沿って流れる流れに乱れが生じ、境界層の拡大または流れの剥離を防止することができる。

また、境界層拡大防止部が設けられたインペラを採用することにより、インペラ内部の損失を低減させることができ、圧縮機の圧縮効率の向上を図ることができる。

#### 図面の簡単な説明

[0034] [図1](a)～(c)は本発明によるインペラの第1実施形態を示す図であって、(a)は要部斜視図、(b)は(a)のI-I矢視断面図、(c)は(a)のII-II矢視断面図である。

[図2](a)および(b)は本発明によるインペラの第2実施形態を示す図であって、(a)は要部斜視図、(b)は(a)のIII-III矢視断面図である。

[図3]本発明によるインペラの第3実施形態を示す要部斜視図である。

[図4]本発明によるインペラの第4実施形態を示す要部斜視図である。

[図5]本発明によるインペラの第5実施形態を示す要部斜視図である。

[図6](a)および(b)は本発明によるインペラの第5実施形態を示す図であって、(a)は図5のa-a矢視断面図、(b)は図5のb-b矢視断面図である。

[図7]本発明によるインペラの第6実施形態を示す要部斜視図である。

[図8](a)および(b)は本発明によるインペラの第7実施形態を示す図であって、(a)は要部斜視図、(b)は境界層拡大防止部の平面図である。

[図9](a)および(b)は本発明によるインペラの第8実施形態を示す図であって、(a)は要部斜視図、(b)は境界層拡大防止部の平面図である。

[図10](a)および(b)は本発明によるインペラの第9実施形態を示す図であって、(a)は要部斜視図、(b)は(a)のc-c矢視断面図である。

[図11]本発明によるインペラの第10実施形態を示す要部斜視図である。

[図12](a)および(b)は本発明によるインペラの第11実施形態を示す図であって、(a)は要部斜視図、(b)は(a)のd-d矢視断面図である。

[図13](a)および(b)は図6(b)と同様の図であって、境界層拡大防止部である溝の他の断面形状を示す図である。

[図14](a)および(b)は従来のインペラの問題点を説明するための図であって、(a)は遠心圧縮機のインペラの断面図、(b)は斜流圧縮機のインペラの断面図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

[0035] 以下、本発明による圧縮機のインペラの第1実施形態について、図1(a)ー図1(c)を参照しながら説明する。なお、本実施形態のインペラは遠心圧縮機に適用された場合の具体例を示している。

図1(a)は本実施形態に係るインペラ10の要部斜視図であって、インペラ10の入口側の端部を省略した図である。また、図1(b)は図1(a)のI-I矢視断面図であり、図1(c)は図1(a)のII-II矢視断面図である。

[0036] 図1(a)ー図1(c)に示すように、本実施形態に係るインペラ10は、複数枚のブレード11と、これらブレード11の根元部Rに配置されるハブ12とを主たる要素として構成されたものである。

ブレード11はそれぞれ、ハブ12の小径側端部12aにその前縁LEが位置するとともに、ハブ12の大径側端部12bにその後縁TEが位置するようにハブ12の表面上に設けられている(図14(a)参照)。

[0037] ハブ面(ハブの表面)12cの、遠心力F1(図14(a)参照)がハブ面12cに対して垂

直に作用する領域、たとえば、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、入口側の約 $1/4$ の位置(図1(a)において中央に位置する小翼13aの最も上流側の位置(起点))からハブ面12cに対して垂直な方向に作用する力 $F_2$ が0となる位置(図1(a)において小翼13a, 13bの最も下流側の位置(終点))までの領域で、かつブレード11とブレード11との間に位置する領域には、ブレード11の翼面(あるいはブレード11の根本部R)に沿って小翼(境界層低減部;凸部)13a, 13bが、たとえば3本設けられている。

[0038] 図1(a)に示すように、これら3本の小翼13a, 13bのうち中央に位置する小翼(すなわち、真ん中に位置する小翼)13aは、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、入口側の約 $1/4$ の位置からハブ面12cに対して垂直な方向に作用する力 $F_2$ が0となる位置までの領域で、かつブレード11間の略中央部に設けられている。

また、この小翼13aの両脇に位置する小翼13bは、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、入口側の約 $1/2$ の位置からハブ面12cに対して垂直な方向に作用する力 $F_2$ が0となる位置までの領域で、かつブレード11と小翼13aとの略中央部に設けられている。

[0039] これら小翼13a, 13bの断面形状はそれぞれ、図1(b)および図1(c)に示すように、ハブ面12cから離れていくにしたがって漸次細くなるように形成されている。また、これら小翼13a, 13bの前縁および後縁もまた、上流側および下流側にかけてそれぞれ漸次細くなるように形成されている。

[0040] これら小翼13a, 13bの高さ(すなわち、ハブ面12cから小翼13a, 13bの先端までの最短距離) $h$ は、ブレード11の同じ半径方向位置における高さ $H$ の約 $1/10$ 〜約 $1/2$ となるように形成されている。

また、小翼13aと小翼13bとの間隔(すなわち、小翼13aの先端と小翼13bの先端との間の最短距離) $W$ は、流体の流れによりハブ表面12cに生じる境界層BLの厚み $\delta$ の2倍よりも大きくなるように形成されている。

[0041] このように、ハブ面12cの、遠心力 $F_1$ (図14(a)参照)がハブ面12cに対して垂直に作用する領域に、ブレード11の翼面に沿って小翼13a, 13bを設けることにより、小翼13a, 13bの表面上に、ハブ面12cに対して略垂直の方向(図中の白抜き矢印

の方向)に2次流れが生じる。ハブ面12cおよび小翼13a, 13b上の境界層BLは、この2次流れに引きずられて(のって)ブレード11間に形成された流路、すなわち、ブレード11間を通過する流体の主流の方に導かれていき、最終的に流体の主流と合流して下流側に流れていくこととなるので、境界層BLの局部集中を防止することができるとともに、境界層BLの厚み $\delta$ を低減させることができる。

また、小翼13a, 13bの高さ $h$ が、ブレード11の同じ半径方向位置における高さ $H$ の約 $1/10$ 〜約 $1/2$ となるように形成されているので、小翼13a, 13bの表面に生じた2次流れを、ブレード11間を通過する主流内に確実に効果的に導くことができ、境界層BLの厚み $\delta$ をさらに低減させることができる。

さらに、小翼13aと小翼13bとの間隔 $W$ が、流体の流れによりハブ表面12cに生じる境界層BLの厚み $\delta$ の2倍よりも大きくなるように形成されており、小翼13aと小翼13bとの間を流体の主流が通過するようになるので、小翼13a, 13bの表面に生じた2次流れと流体の主流との合流が促進され、境界層BLの厚 $\delta$ みをより一層低減させることができる。

さらにまた、小翼13a, 13bの前縁および後縁が、上流側および下流側にかけてそれぞれ漸次細くなるように形成されているので、流体の主流がこれら小翼13a, 13bの前縁に衝突するとき、あるいはこれら小翼13a, 13bの後縁から離れていくときに生じる渦損失を最小限にすることができる。

さらにまた、小翼13a, 13bの先端が、ハブ面12cから離れていくにしたがって漸次細くなるように形成されているので、小翼13a, 13bの表面に生じた2次流れがこれら小翼13a, 13bの先端から離れていくときに生じる渦損失を最小限にすることができる。

[0042] 図2(a)および図2(b)を用いて本発明による圧縮機のインペラの第2実施形態について説明する。図2(a)は前述した図1(a)と同様の図で、インペラ20の入口側の端部を省略した図である。また、図2(b)は図2(a)のIII-III矢視断面図である。

本実施形態におけるインペラ20は、境界層低減部(凸部)としての小翼23すべての起点が、前述した第1実施形態の小翼13aの起点と同じ位置に設けられているとともに、小翼23すべての終点が、前述した第1実施形態の小翼13a, 13bの終点よりも

下流側、すなわち、出口端側に延長して設けられているという点で第1実施形態のものと異なる。その他の構成要素については前述した第1実施形態のものと同一であるので、ここではそれら構成要素についての説明は省略し、小翼23についてのみ説明することにする。

なお、第1実施形態と同一の部材には同一の符号を付している。

[0043] ハブ面(ハブの表面)12cの、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、入口側の約 $1/4$ の位置(図2(a)において小翼23の最も上流側の位置(起点))から出口側の約 $1/5$ の位置(図2(a)において小翼23の最も下流側の位置(終点))までの領域で、かつブレード11とブレード11との間に位置する領域には、ブレード11の翼面(あるいはブレード11の根本部R)に沿って小翼23が、たとえば3本設けられている。

[0044] これら小翼23の断面形状はそれぞれ、第1実施形態同様、ハブ面12cから離れていくにしたがって漸次細くなるように形成されている。

また、これら小翼23の前縁および後縁もまた、第1実施形態同様、上流側および下流側にかけてそれぞれ漸次細くなるように形成されている(図1(b)および図1(c)参照)。

[0045] これら小翼23の高さ(すなわち、ハブ面12cから小翼23の先端までの最短距離)hは、前述した第1実施形態同様、ブレード11の同じ半径方向位置における高さHの約 $1/10$ 〜約 $1/2$ となるように形成されている。

また、小翼23と小翼23との間隔(すなわち、一の小翼23の先端とこの一の小翼23に隣接する小翼23の先端との間の最短距離)Wは、前述した第1実施形態同様、流体の流れによりハブ表面12cに生じる境界層BLの厚み $\delta$ の2倍よりも大きくなるように形成されている。

[0046] このような小翼23を設けることにより、前述した第1実施形態と同様の作用効果を得ることができる。

また、小翼23すべての起点が、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、入口側の約 $1/4$ の位置、すなわち、前述した第1実施形態の小翼13aの起点と同じ位置とされているので、前述した第1実施形態のものよりも小翼23の表面積が増加し、これに伴って2次流れが増加して、境界層BLの集中をさらに防止することができる

もに、境界層BLの厚み  $\delta$  をさらに低減させることができる。

さらに、小翼23すべての終点が、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、出口側の約1/5の位置、すなわち、前述した第1実施形態の小翼13a, 13bの終点よりも下流側(出口端側)に延長して設けられているので、この延長された小翼23の表面に沿って境界層BLがインペラ20の半径方向外側に放出されることとなって、境界層BLの厚み  $\delta$  をより一層低減させることができる。

[0047] 図3を用いて本発明による圧縮機のインペラの第3実施形態について説明する。図3は前述した図1(a)および図2(a)と同様の図で、インペラ30の入口側の端部を省略した図である。

本実施形態におけるインペラ30は、境界層低減部(凸部)としての小翼33すべての終点が、インペラ30の出口端まで延長して設けられているという点で第2実施形態のものと異なる。その他の構成要素については前述した第2実施形態のものと同じであるので、ここではそれら構成要素についての説明は省略し、小翼33についてのみ説明することにする。

なお、第1実施形態および第2実施形態と同一の部材には同一の符号を付している。

[0048] ハブ面(ハブの表面)12cの、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、入口側の約1/4の位置(図3において小翼33の最も上流側の位置(起点))から出口端までの領域で、かつブレード11とブレード11との間に位置する領域には、ブレード11の翼面(あるいはブレード11の根本部R)に沿って小翼33が、たとえば3本設けられている。

[0049] これら小翼33の断面形状はそれぞれ、第1実施形態同様、ハブ面12cから離れていくにしたがって漸次細くなるように形成されている。

また、これら小翼33の前縁および後縁もまた、第1実施形態同様、上流側および下流側にかけてそれぞれ漸次細くなるように形成されている(図1(b)および図1(c)参照)。

[0050] これら小翼33の高さ(すなわち、ハブ面12cから小翼33の先端までの最短距離)hは、前述した第1実施形態同様、ブレード11の同じ半径方向位置における高さHの

約 $1/10$ 〜約 $1/2$ となるように形成されている。

また、小翼33と小翼33との間隔(すなわち、一の小翼33の先端とこの一の小翼33に隣接する小翼33の先端との間の最短距離)Wは、前述した第1実施形態同様、流体の流れによりハブ表面12cに生じる境界層BLの厚み $\delta$ の2倍よりも大きくなるように形成されている。

[0051] このような小翼33を設けることにより、前述した第1実施形態と同様の作用効果を得ることができる。

また、小翼33すべての終点が、インペラ出口端まで延長して設けられているので、この延長された小翼33の表面に沿って境界層がインペラ30の半径方向外側に放出されることとなって、境界層BLの厚み $\delta$ をより一層低減させることができる。

さらに、小翼33すべての終点が、インペラ出口端まで延長して設けられていることにより、小翼33の後縁から流出した流体は、下流側に設けられたディフューザに最短距離で到達することとなるので、遠心圧縮機全体における流体の流速歪みによる損失を低減させることができる。

[0052] 図4を用いて本発明による圧縮機のインペラの第4実施形態について説明する。図4は前述した図1(a)、図2(a)、および図3と同様の図で、インペラ40の入口側の端部を省略した図である。

本実施形態におけるインペラ40は、斜流圧縮機に適用されるものであって、図1(a)〜図1(c)に示す境界層低減部(凸部)としての小翼13a, 13bと同様の小翼が、ハブ面12cに形成されているものである。

[0053] 図4に示すように、本実施形態に係るインペラ40は、複数枚のブレード11と、これらブレード11の根元部Rに配置されるハブ12とを主たる要素として構成されたものである。

ブレード11はそれぞれ、ハブ12の小径側端部12aにその前縁LEが位置するとともに、ハブ12の大径側端部12bにその後縁TEが位置するようにハブ12の表面上に設けられている(図14(b)参照)。

[0054] ハブ面(ハブの表面)12cの、遠心力F1(図14(b)参照)がハブ面12cに対して垂直に作用する領域、たとえば、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、入口側

の約 $1/4$ の位置(図4において中央に位置する小翼の最も上流側の位置(起点))からインペラの出口端(図4において小翼の最も下流側の位置(終点))までの領域で、かつブレード11とブレード11との間に位置する領域には、ブレード11の翼面(あるいはブレード11の根本部R)に沿って小翼43a, 43bが、たとえば3本設けられている。

- [0055] 図4に示すように、これら3本の小翼43a, 43bのうち中央に位置する小翼(すなわち、真ん中に位置する小翼)43aは、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、入口側の約 $1/4$ の位置からインペラの出口端までの領域で、かつブレード11間の略中央部に設けられている。

また、この小翼43aの両脇に位置する小翼43bは、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、入口側の約 $1/2$ の位置からインペラの出口端までの領域で、かつブレード11と小翼13aとの略中央部に設けられている。

- [0056] これら小翼43a, 43bの断面形状はそれぞれ、第1実施形態同様、ハブ面12cから離れていくにしたがって漸次細くなるように形成されている。

また、これら小翼43a, 43bの前縁および後縁もまた、第1実施形態同様、上流側および下流側にかけてそれぞれ漸次細くなるように形成されている(図1(b)および図1(c)参照)。

- [0057] これら小翼43a, 43bの高さ(すなわち、ハブ面12cから小翼43a, 43bの先端までの最短距離)hは、前述した第1実施形態同様、ブレード11の同じ半径方向位置における高さHの約 $1/10$ 〜約 $1/2$ となるように形成されている。

また、小翼43aと小翼43bとの間隔(すなわち、小翼43aの先端と小翼43bの先端との間の最短距離)wは、流体の流れによりハブ表面12cに生じる境界層BLの厚み $\delta$ の2倍よりも大きくなるように形成されている。

- [0058] このように、ハブ面12cの、遠心力F1(図14(b)参照)がハブ面12cに対して垂直に作用する領域に、ブレード11の翼面に沿って小翼43a, 43bを設けることにより、小翼43a, 43bの表面上に、ハブ面12cに対して略垂直の方向(図1(a)および図1(b)の白抜き矢印と同じ方向)に2次流れが生じる。ハブ面12cおよび小翼43a, 43b上の境界層BLは、この2次流れに引きずられて(のって)ブレード11間に形成された流路、すなわち、ブレード11間を通過する流体の主流の方に導かれていき、最終的



に流体の主流と合流して下流側に流れていくこととなるので、境界層BLの局部集中を防止することができるとともに、境界層BLの厚み  $\delta$  を低減させることができる。

また、小翼43a, 43bの高さhが、ブレード11の同じ半径方向位置における高さHの約 $1/10$ 〜約 $1/2$ となるように形成されているので、小翼43a, 43bの表面に生じた2次流れを、ブレード11間を通過する主流内に確実に効果的に導くことができ、境界層BLの厚み  $\delta$  をさらに低減させることができる。

さらに、小翼43aと小翼43bとの間隔Wが、流体の流れによりハブ表面12cに生じる境界層BLの厚み  $\delta$  の2倍よりも大きくなるように形成されており、小翼43aと小翼43bとの間を流体の主流が通過するようになるので、小翼43a, 43bの表面に生じた2次流れと流体の主流との合流が促進され、境界層BLの厚  $\delta$  をより一層低減させることができる。

さらにまた、小翼43a, 43bの前縁および後縁が、上流側および下流側にかけてそれぞれ漸次細くなるように形成されているので、流体の主流がこれら小翼43a, 43bの前縁に衝突するとき、あるいはこれら小翼43a, 43bの後縁から離れていくときに生じる渦損失を最小限にすることができる。

さらにまた、小翼43a, 43bの先端が、ハブ面12cから離れていくにしたがって漸次細くなるように形成されているので、小翼43a, 43bの表面に生じた2次流れがこれら小翼43a, 43bの先端から離れていくときに生じる渦損失を最小限にすることができる。

[0059] なお、本発明は上述した実施形態のものに限定されるものではなく、たとえば図4に示した小翼43bの起点を、図2(a)あるいは図3同様、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、入口側の約 $1/4$ の位置に位置させることもできる。

これによる作用効果については第2実施形態のところで述べたので、ここではその説明を省略する。

[0060] また、小翼の本数は3本限定されるものではなく、小翼と小翼との間に主流の流速が存在できれば何本でもよい。

[0061] 本発明による圧縮機のインペラの第5実施形態について、図5、図6(a)および図6(b)を参照しながら説明する。なお、以下に述べる実施形態のインペラは遠心圧縮機

に適用されるものである。

図5は本実施形態に係るインペラ310の要部斜視図であって、インペラの入口端からインペラの出口端までのうち、入口側の約1/4を省略した図である。また、図6(a)は図5のa-a矢視断面図であり、図6(b)は図5のb-b矢視断面図である。

[0062] 図5に示すように、本実施形態に係るインペラ310は、複数枚のブレード11と、これらブレード11の根元部Rに配置されるハブ12とを主たる要素として構成されたものである。

ブレード11はそれぞれ、ハブ12の小径側端部12aにその前縁LEが位置するとともに、ハブ12の大径側端部12bにその後縁TEが位置するようにハブ12の表面上に設けられている(図14(a)参照)。

[0063] ハブ面(ハブの表面)12cの、遠心力F1(図14(a)参照)がハブ面12cに対して垂直に作用する領域、たとえば、インペラ入口端から出口端までの長さのうち、入口側の約1/4の位置(図5においてハッチングで示す位置)からハブ面12cに対して垂直な方向に作用する力F2が0となる位置までの領域で、かつブレード11とブレード11との間に位置する領域に、ブレード11の翼面(あるいはブレード11の根本部R)に沿って直線状の溝(境界層拡大防止部)313が複数本(図5には5本図示している)設けられている。

なお、図5の符号314は、インペラ310をボールエンドミルによる削り加工で作製した場合の加工跡で、ハブ面12cの、ハブ面12cに対して垂直な方向に作用する力F2が0となる領域に設けられた12本の小さい溝を示している。この溝の最大深さおよび幅はそれぞれ、前述したように一般的にインペラの外径の0.2%程度である。したがって、インペラ直径が100mmのものであれば、その最大深さと幅はそれぞれ、0.2mm程度となる。

[0064] 図6(a)および図6(b)に示したように、境界層拡大防止部として設けられた溝313は、インペラ作製時にできた機械加工跡の溝314よりも深く形成されているものである。すなわち $H1 > h1$ となるように形成されている。ここで、H1は溝313の最大深さであり、h1はハブ面12cを削り加工するときについた加工跡の深さである。

溝313の最大深さH1はハブ面境界層の排除厚さ程度に設定することが好ましく、

具体的にはインペラ外径の0.3%以上2.0%以下であることが好ましく、0.5%以上2.0%以下であることが最も好ましい。すなわち、インペラの外径が100mmのものであれば、溝313の最大深さH1は0.3mm〜2.0mmであることが好ましく、0.5mm〜2.0mmであることが最も好ましい。

[0065] このように、ハブ面12cの、遠心力F1がハブ面12cに対して垂直に作用する領域に、ブレード11の翼面に沿って複数本の直線状の溝313を設けることにより、ハブ面12c近くをハブ面12cに沿って流れる流れが溝313の山部を越えて隣接する溝313の谷部に流れ込んだり、あるいは溝313の山部を越えて隣接する溝313の上方に向けて斜めに進んでいったりすることとなり、ハブ面12c近くをハブ面12cに沿って流れる流れに乱れが生じ、境界層の拡大または流れの剥離を防止することができる。

また、溝313が直線状に形成されているので、溝313の加工を容易に行うことができるとともに、製造コストを抑制することができる。

[0066] つぎに、図7を用いて本発明による圧縮機のインペラの第6実施形態について説明する。図7は前述した図5と同様の図で、インペラの入口端からインペラの出口端までの長さのうち、入口側の約1/4を省略した要部斜視図である。

本実施形態におけるインペラ320は、境界層拡大防止部としての溝323の平面視形状が波形に形成されているという点で第5実施形態のものと異なる。その他の構成要素については前述した第5実施形態のものと同じであるので、ここではそれら構成要素についての説明は省略し、溝323の平面視形状についてのみ説明することにする。

なお、第5実施形態と同一の部材には同一の符号を付している。

[0067] 本実施形態における境界層拡大防止部としての溝323は、その平面視形状が波形を有するもの、すなわち、平面視における山部と谷部がそれぞれなめらかな曲線で形成されているとともに、これら山部と谷部とが連続するように形成されたものである。溝323の深さについては前述した第5実施形態の溝313と同じであるので、ここではその説明を省略する。

[0068] このように、境界層拡大防止部としての溝323の平面視形状を波形とすることにより、溝323の山部を越えて隣接する溝323の谷部に流れ込んだり、あるいは溝323の

山部を越えて隣接する溝323の上方に向けて斜めに進む流れの方向と、溝323の山部とのなす角が第5実施形態のものよりも大きくなる部分ができるため、その部分ではハブ面12c近くをハブ面12cに沿って流れる流れにより強い乱れが生じて、境界層の拡大または流れの剥離を防止することができる。

[0069] 図8(a)および図8(b)を用いて本発明による圧縮機のインペラの第7実施形態について説明する。図8(a)は前述した図5および図7と同様の図で、インペラの入口端からインペラの出口端までの長さのうち、入口側の約1/4を省略した要部斜視図である。

本実施形態におけるインペラ330は、境界層拡大防止部としての溝333の平面視形状が鋸歯形に形成されているという点で前述した実施形態のものと異なる。その他の構成要素については前述した実施形態のものと同一であるので、ここではそれら構成要素についての説明は省略し、溝333の平面視形状についてのみ説明することにする。

なお、前述した実施形態と同一の部材には同一の符号を付している。

[0070] 図8(b)に示すように、本実施形態における境界層拡大防止部としての溝333は、その平面視形状が鋸歯形、すなわち、平面視における山部と谷部がそれぞれ2本の直線で形成されているとともに、これら山部と谷部とが連続し、かつこれら山部と谷部とが直線で結ばれるように形成されたものである。溝333の幅および深さについては前述した実施形態のものと同一であるので、ここではその説明を省略する。

[0071] このように、境界層拡大防止部としての溝333の平面視形状を鋸歯形とすることにより、溝333の山部を越えて隣接する溝333の谷部に流れ込んだり、あるいは溝333の山部を越えて隣接する溝333の上方に向けて斜めに進む流れの方向と、溝333の山部とのなす角が第5実施形態のものよりも大きくなる部分ができるとともに、このような部分を第6実施形態のものよりも多く形成させることができるので、ハブ面12c近くをハブ面12cに沿って流れる流れにより強い乱れが生じて、境界層の拡大または流れの剥離を防止することができる。

[0072] 図9(a)および図9(b)を用いて本発明による圧縮機のインペラの第8実施形態について説明する。図9(a)は前述した図5、図7、および図8(a)と同様の図で、インペラ

の入口端からインペラの出口端までの長さのうち、入口側の約1/4を省略した要部斜視図である。

本実施形態におけるインペラ340は、境界層拡大防止部としての溝343が互いに交差するように形成されているという点で上述した実施形態のものと異なる。その他の構成要素については前述した実施形態のものと同一であるので、ここではそれら構成要素についての説明は省略し、溝343についてのみ説明することにする。

なお、前述した実施形態と同一の部材には同一の符号を付している。

[0073] 図9(b)に示すように、本実施形態における境界層拡大防止部としての溝343は、一側から他側にかけてブレード11とブレード11との間に形成された流路を斜めに横切るように形成された複数本の溝343aと、これら溝343aと交差するように形成されるとともに、他側から一側にかけてブレード11とブレード11との間に形成された流路を斜めに横切るように形成された複数本の溝343bとから形成されたものである。すなわち、図において左下から右上に延びる溝343aと右下から左上に延びる溝343bとが互いに交差するように形成されたものである。

なお、図9(a)および図9(b)において溝343a, 343bを示す実線は、溝の最も深い部分が形成する線を示している。

また、符号343cは、溝343a, 343bを彫った後に残った部分、すなわち、インペラ作製時にできた機械加工跡が頂部表面に残る突起を示している。

溝343a, 343bの幅および深さについては前述した実施形態のものと同一であるので、ここではその説明を省略する。

[0074] このように、境界層拡大防止部としての溝343を互いに交差させて形成することにより、複数個の突起343cが形成されることとなり、ハブ面12c近くをハブ面12cに沿って流れる流れがこれら突起343cに衝突したり、あるいはこれら突起343cを越えて隣接する溝343a, 343bの谷部に流れ込んだり、あるいはこれら突起343cを越えて隣接する溝343a, 343bの上方に向けて斜めに進んでいったりすることとなり、ハブ面12c近くをハブ面12cに沿って流れる流れに乱れが生じ、境界層の拡大または流れの剥離を防止することができる。

[0075] 図10(a)および図10(b)を用いて本発明による圧縮機のインペラの第9実施形態

について説明する。図10(a)は前述した図5、図7、図8(a)、および図9(a)と同様の図で、インペラの入口端からインペラの出口端までの長さのうち、入口側の約1/4を省略した要部斜視図である。

本実施形態におけるインペラ350は、境界層拡大防止部としての溝353がインペラ350の回転軸線を中心とする同心円上に形成されているという点で上述した実施形態のものと異なる。その他の構成要素については前述した実施形態のものと同一であるので、ここではそれら構成要素についての説明は省略し、溝353についてのみ説明することにする。

なお、前述した実施形態と同一の部材には同一の符号を付している。

[0076] 図10(a)に示すように、本実施形態における境界層拡大防止部としての溝353は、インペラ350の回転軸線を中心とする同心円上、すなわち、インペラ350の回転軸線からインペラ350の外周縁に向かって延びる放射線に対して直交するように形成されたものである。また、図10(b)は図10(a)のc-c矢視断面図である。

溝353の幅および深さについては前述した実施形態のものと同一であるので、ここではその説明を省略する。

[0077] このように、境界層拡大防止部としての溝353をインペラ350の回転軸線を中心とする同心円上に形成することにより、ハブ面12c近くをハブ面12cに沿って流れる流れのすべてが溝353の山部を越えて隣接する溝353の谷部に流れ込んだり、あるいは溝353の山部を越えて隣接する溝353の上方に向けて斜めに進んでいったりすることとなり、ハブ面12c近くをハブ面12cに沿って流れる流れにより強い乱れが生じて、境界層の拡大または流れの剥離を防止することができる。

また、溝353が直線状に形成されているので、溝353の加工を容易に行うことができるとともに、製造コストを抑制することができる。

また、この同心円上の溝が、第6実施形態と同様に波形に形成されても、第7実施形態と同様に鋸歯形に形成されても良い。

[0078] 図11を用いて本発明による圧縮機のインペラの第10実施形態について説明する。図11は前述した図5、図7、図8(a)、図9(a)、および図10(a)と同様の図で、インペラの入口端からインペラの出口端までの長さのうち、入口側の約1/4を省略した要

部斜視図である。

本実施形態におけるインペラ360は、境界層拡大防止部としての溝363が複数の領域(本実施形態では3つの領域363a, 363b, 363c)に分けて形成されているという点で上述した実施形態のものと異なる。その他の構成要素については前述した実施形態のものと同じであるので、ここではそれら構成要素についての説明は省略し、溝363についてのみ説明することにする。

なお、前述した実施形態と同一の部材には同一の符号を付している。

[0079] 図11に示すように、本実施形態における境界層拡大防止部としての溝363は、基本的に図5に示した第5実施形態のものと同じであるが、溝363が上流側から下流側にかけて3つの領域363a, 363b, 363cに分割されているという点で第5実施形態のものと異なる。すなわち、ハブ面12cの、遠心力がハブ面12cに対して垂直に作用する領域、たとえば、インペラの入口端から出口端までの長さのうち、入口側の約1/4の位置(図5においてハッチングで示す位置)からハブ面12cに対して垂直な方向に作用する力F2が0となる位置までの領域が3つの領域363a, 363b, 363cに分割され、かつ各領域のブレード11とブレード11との間に、ブレード11の表面に沿って直線状の溝363が複数本(図11には領域363aに4本、領域363bに4本、および領域363cに5本図示している)ずつ設けられている。

溝363の幅および深さについては前述した実施形態のものと同じであるので、ここではその説明を省略する。

また、作用効果についても前述した第5実施形態のものと同様であるので、ここではその説明を省略する。

[0080] 図12(a)および図12(b)を用いて本発明による圧縮機のインペラの第11実施形態について説明する。図12(a)は前述した図5、図7、図8(a)、図9(a)、図10(a)、および図11と同様の図で、インペラの入口端からインペラの出口端までの長さのうち、入口側の約1/4を省略した要部斜視図である。

本実施形態におけるインペラ370は、境界層拡大防止部として今まで述べてきた溝の代わりに複数個の凸部373aおよび複数個の凹部(ディンプル)373bが設けられているという点で上述した実施形態のものと異なる。その他の構成要素については

前述した実施形態のものと同じであるので、ここではそれら構成要素についての説明は省略し、凸部373aおよび凹部373bについてのみ説明することにする。

なお、上述した実施形態と同一の部材には同一の符号を付している。

[0081] 図12(a)に示すように、本実施形態における境界層拡大防止部としての凸部373aおよび凹部373bはそれぞれ平面視円形を呈するとともに、図12(b)に示すように、断面視半円形を呈するものである。

凸部373aおよび凹部373bの直径および深さは前述した実施形態のものと同様、インペラ外径の0.3%以上2.0%以下であることが好ましく、0.5%以上2.0%以下であることが最も好ましい。

[0082] このように、境界層拡大防止部を複数個の凸部373aと複数個の凹部373bとで構成することにより、ハブ面12c近くをハブ面12cに沿って流れる流れがこれら凸部373aに衝突したり、あるいはこれら凸部373aを越えて隣接する凹部373bに流れ込んだり、あるいはこれら凸部373aを越えて隣接する凸部373aや凹部373bの上方に向けて斜めに進んでいったりすることとなり、ハブ面12c近くをハブ面12cに沿って流れる流れに乱れが生じ、境界層の拡大または流れの剥離を防止することができる。

[0083] なお、本発明は遠心圧縮機のみには適用されるものではなく、斜流圧縮機にも適用され得るものである。ただし、斜流圧縮機では遠心圧縮機と異なり、インペラの出口端まで遠心力F1がハブ面12cに対して垂直に作用するため、斜流圧縮機に本発明を適用する場合には、上述した境界層拡大防止部を設ける領域はインペラの出口端までを対象とする。すなわち、図5、図7、図8(a)、図9(a)、図10(a)、図11、および図12(a)に示した溝314の部分もこれら図面に示した境界層拡大防止部を設ける対象領域である。

[0084] 今まで述べてきたインペラを具備した遠心圧縮機あるいは斜流圧縮機では、境界層の拡大または流れの剥離が防止されることとなるので、インペラ内部の損失を低減させることができるとともに、圧縮効率の向上を図ることができる。

[0085] また、溝313、323、333、343a、343b、353、363の断面形状は図6(b)のようなものに限定されるものではなく、たとえば、図13(a)または図13(b)に示すような断面形状とすることもできる。



すなわち、図13(a)のように、溝の谷部を曲線で形成するとともに、溝の谷と山の頂点とを直線で結んだ鋸歯のような断面形状とすることもできるし、あるいは図13(b)のように、溝の頂部にインペラ作製当初につけられた加工跡314が残ったままの状態とすることもできる。

[0086] さらに、本発明は削り加工によって作製されたインペラのみにも適用されるものではなく、鑄造によって作製される鑄物インペラにも適用することができる。この場合には、予め鑄型の表面に前述した境界層拡大防止部を形作るための工夫を施しておけばよい。

[0087] さらにまた、本発明による境界層拡大防止部は、前述した溝や凸部あるいは凹部などに限定されるものではなく、通常用いられているハブ面よりも粗い面とするだけでも、前述した効果と同様の効果を得ることができる。

## 請求の範囲

- [1] 複数枚のブレードと、これら複数枚のブレードの根元部に配置されるハブとを有し、流体が流れる前記ハブの表面の少なくとも一部が回転軸線に対して傾斜した圧縮機のインペラであって、
- 前記ハブの表面に、流体の流れにより生じる境界層の厚みを低減させる境界層低減部が設けられている圧縮機のインペラ。
- [2] 前記境界層低減部が、流体の流れに作用する遠心力が流体の流れを前記ハブの表面から剥がす方向に作用する部位に設けられている請求項1に記載の圧縮機のインペラ。
- [3] 前記境界層低減部が、当該インペラの入口端から出口端までの長さの、インペラの入口端から約1/4の位置よりも下流側に設けられている請求項1に記載の圧縮機のインペラ。
- [4] 前記境界層低減部が、前記ハブの表面に対して垂直方向に突出する凸部として形成されている請求項1に記載の圧縮機のインペラ。
- [5] 前記凸部が、前記ブレード間において前記ブレードの翼面に沿って形成された少なくとも一本の小翼として設けられている請求項4に記載の圧縮機のインペラ。
- [6] 前記小翼の高さが、前記ブレードの高さの約1/10〜約1/2に設定されている請求項5に記載の圧縮機のインペラ。
- [7] 前記小翼間の最大距離が、前記ハブの表面に、流体の流れにより生じる境界層の厚みの2倍よりも大きくなるように設定されている請求項5に記載の圧縮機のインペラ。
- [8] 前記圧縮機のインペラは遠心圧縮機のインペラであり、前記境界層低減部が、前記ハブ面に対して垂直な方向に作用する力がゼロとなる位置まで設けられている請求項3に記載の圧縮機のインペラ。
- [9] 前記境界層低減部が、前記ハブ面に対して垂直な方向に作用する力がゼロとなる位置からさらに下流側にも延設されている請求項8に記載の圧縮機のインペラ。
- [10] 前記境界層低減部が、当該インペラの出口端まで設けられている請求項9に記載の圧縮機のインペラ。

- [11] 前記圧縮機のインペラは斜流圧縮機のインペラであり、前記境界層拡大防止部が、当該インペラの出口端まで設けられている請求項3に記載の圧縮機のインペラ。
- [12] 複数枚のブレードと、これら複数枚のブレードの根元部に配置されるハブとを有し、流体が流れる前記ハブの表面の少なくとも一部が回転軸線に対して傾斜した圧縮機のインペラであって、  
前記ハブの表面に、流体の流れにより生じる境界層の拡大を防止する境界層拡大防止部が設けられている圧縮機のインペラ。
- [13] 前記境界層拡大防止部が、流体の流れに作用する遠心力が流体の流れを前記ハブの表面から剥がす方向に作用する部位に設けられている請求項12に記載の圧縮機のインペラ。
- [14] 前記境界層拡大防止部が、当該インペラの入口端から出口端までの長さの、インペラの入口端から約1/4の位置よりも下流側に設けられている請求項12に記載の圧縮機のインペラ。
- [15] 前記境界層低減部は、複数本の溝からなる請求項14に記載の圧縮機のインペラ。
- [16] 前記複数本の溝が、前記ブレード間において前記ブレードの翼面に沿って直線状に形成されている請求項15に記載の圧縮機のインペラ。
- [17] 前記直線状の溝が、上流側から下流側にかけて複数の領域に分割されている請求項16に記載の圧縮機のインペラ。
- [18] 前記複数本の溝が、前記ブレード間において平面視波形に形成されている請求項15に記載の圧縮機のインペラ。
- [19] 前記複数本の溝が、前記ブレード間において平面鋸歯形に形成されている請求項15に記載の圧縮機のインペラ。
- [20] 前記複数本の溝が、前記ブレード間において一側のブレードから他側のブレードにかけて流路を斜めに横切るように形成された複数本の溝と、これら溝と交差するように形成されるとともに、他側のブレードから一側のブレードにかけて流路を斜めに横切るように形成された複数本の溝とからなる請求項15に記載の圧縮機のインペラ。
- [21] 前記複数本の溝が、前記ブレード間において当該インペラの回転軸線を中心とする同心円上に形成されている請求項15に記載の圧縮機のインペラ。

- [22] 前記境界層低減部は、複数個の凹凸からなる請求項14に記載の圧縮機のインペラ。
- [23] 前記複数個の凹凸はそれぞれ、平面視円形に形成されている請求項22に記載の圧縮機のインペラ。
- [24] 前記溝又は凹凸の最大深さが、当該インペラの外径の0.3%以上2.0%以下である請求項15または22に記載の圧縮機のインペラ。
- [25] 前記溝又は凹凸の最大深さが、当該インペラの外径の0.5%以上2.0%以下である請求項15または22に記載の圧縮機のインペラ。
- [26] 前記圧縮機のインペラは遠心圧縮機のインペラであり、前記境界層拡大防止部が、前記ハブ面に対して垂直な方向に作用する力がゼロとなる位置まで設けられている請求項15または22に記載の圧縮機のインペラ。
- [27] 前記圧縮機のインペラは斜流圧縮機のインペラであり、前記境界層拡大防止部が、当該インペラの出口端まで設けられている請求項15または22に記載の圧縮機のインペラ。
- [28] 請求項1または12に記載のインペラを具備してなる圧縮機。

[図1]

(b)

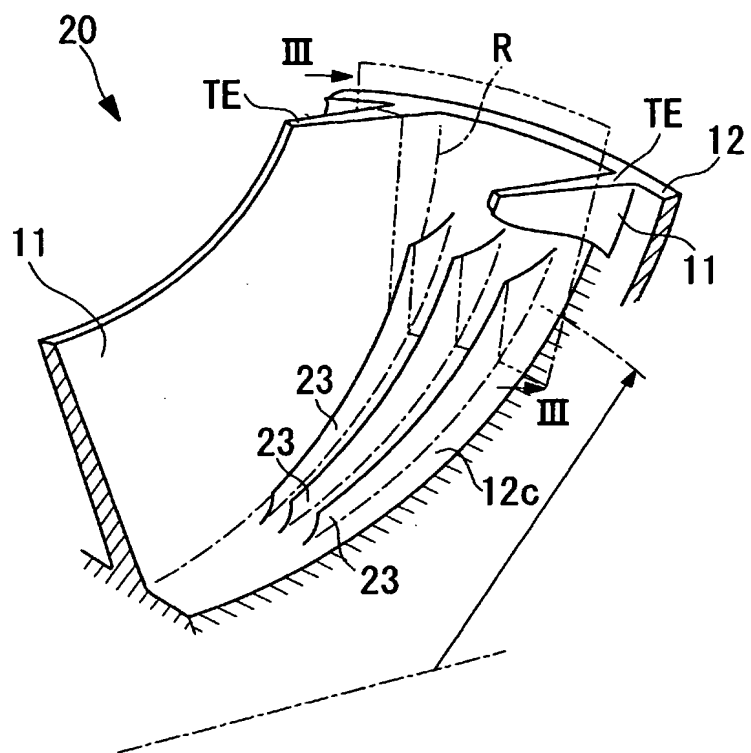
Diagram (b) shows a cross-sectional view of a semiconductor device. It features a substrate 12 with a central protrusion 13a. Two side walls 11 are positioned on either side of the protrusion. The side walls 11 have a height H from the substrate surface to the top. The protrusion 13a has a height h from the substrate surface to its top. A layer BL is located between the side walls 11 and the protrusion 13a. A region R is indicated at the base of the side walls 11.

(c)

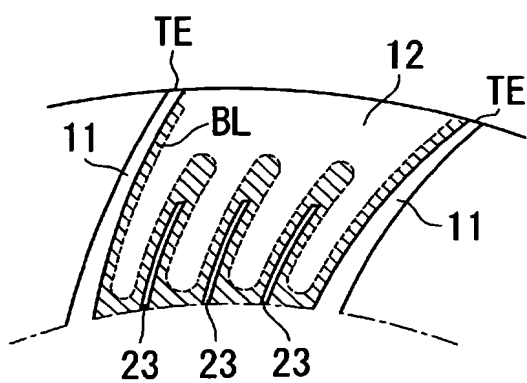
Diagram (c) shows a cross-sectional view of a periodic structure. The structure consists of a base layer 12 and a top layer 11. The top layer 11 has a thickness  $\delta$ . The structure features a series of peaks and valleys. The width of the peaks is labeled  $W$ , the height of the peaks is labeled  $H$ , and the height of the valleys is labeled  $h$ . The base is labeled 12, and the top layer is labeled 11. The valleys are labeled 13a and 13b. The top layer is labeled BL. The base is labeled R.

[図2]

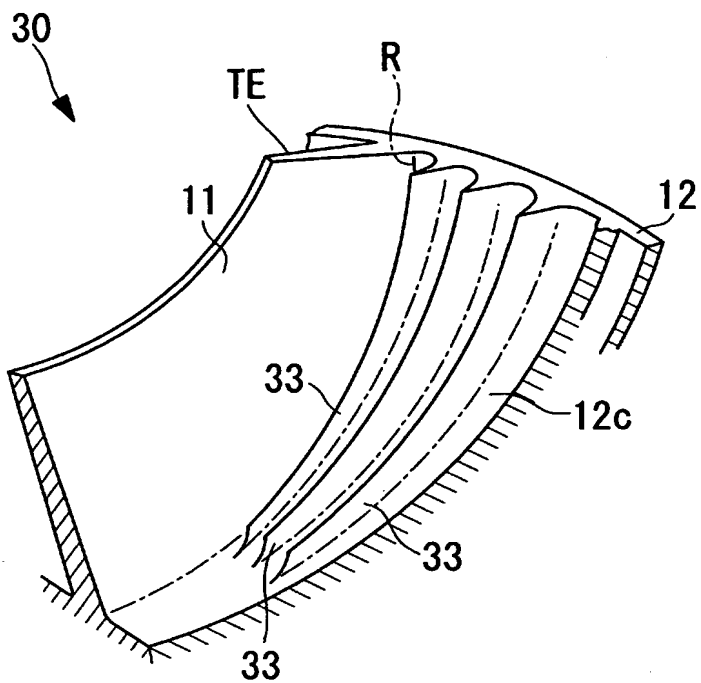
(a)



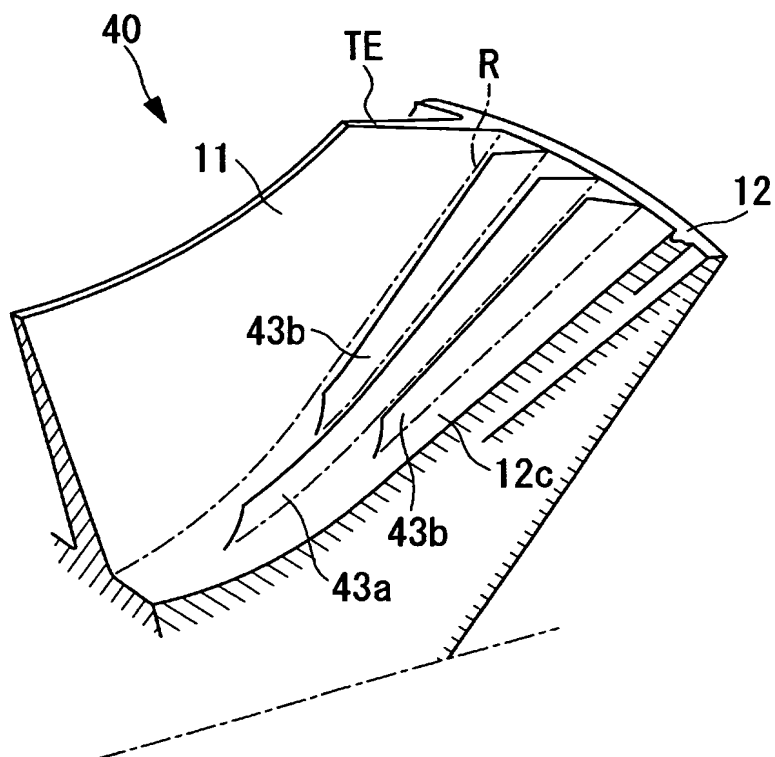
(b)



[図3]



[図4]

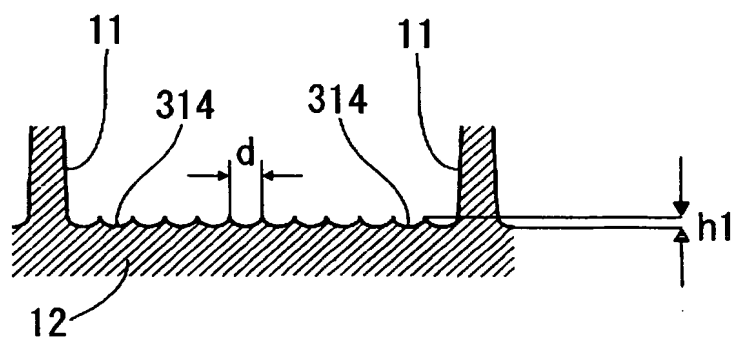




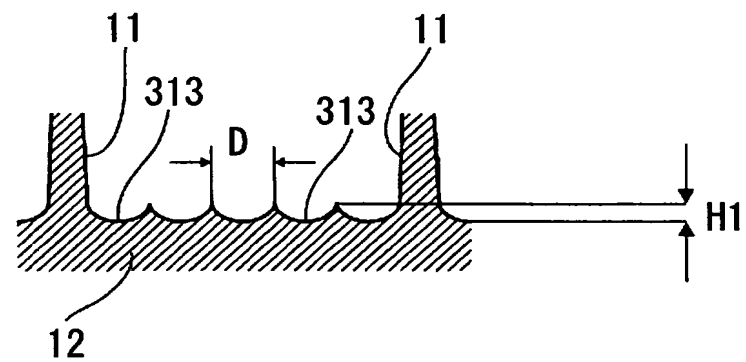


[図6]

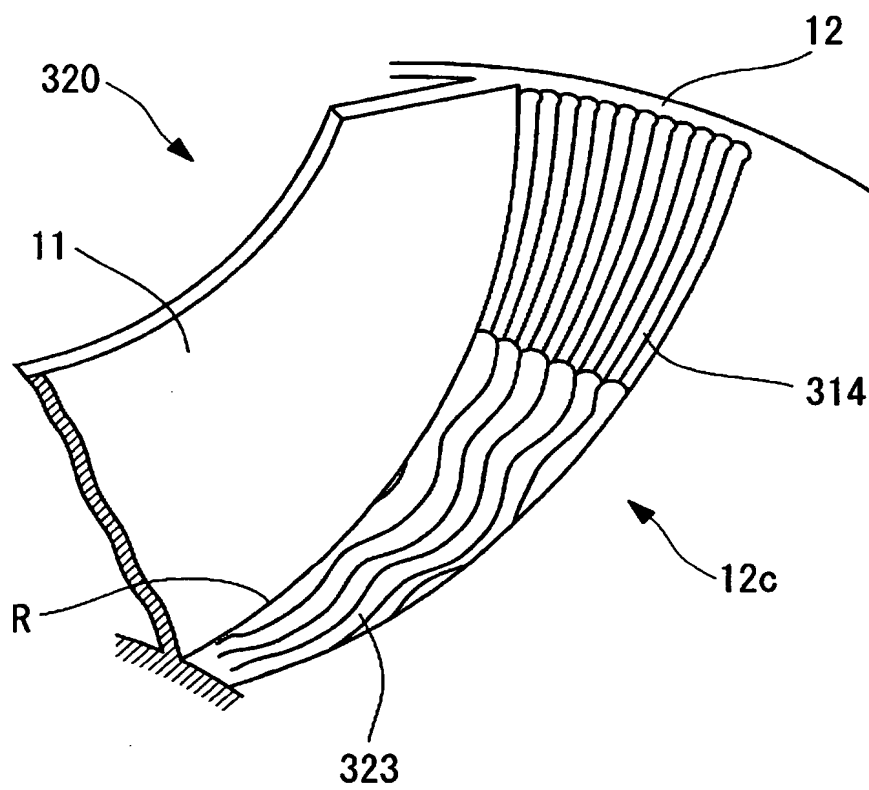
(a)



(b)

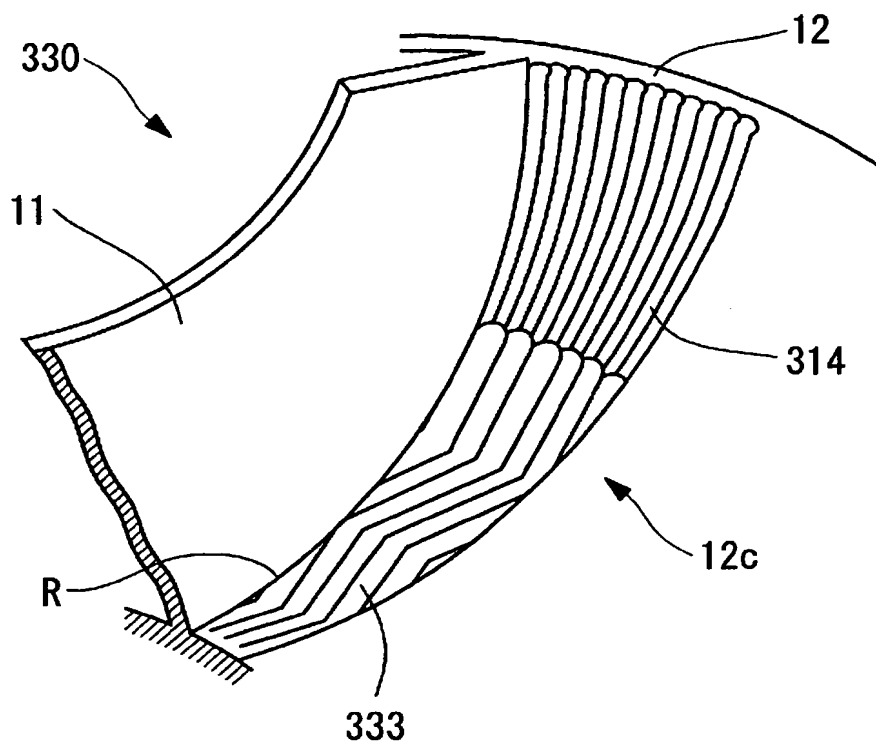


[図7]

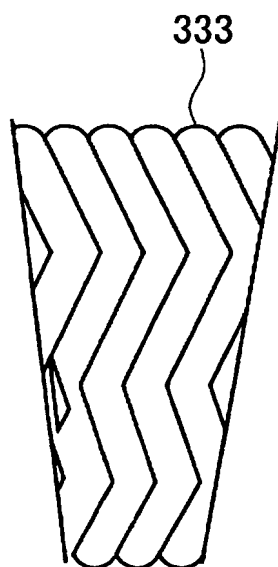


[図8]

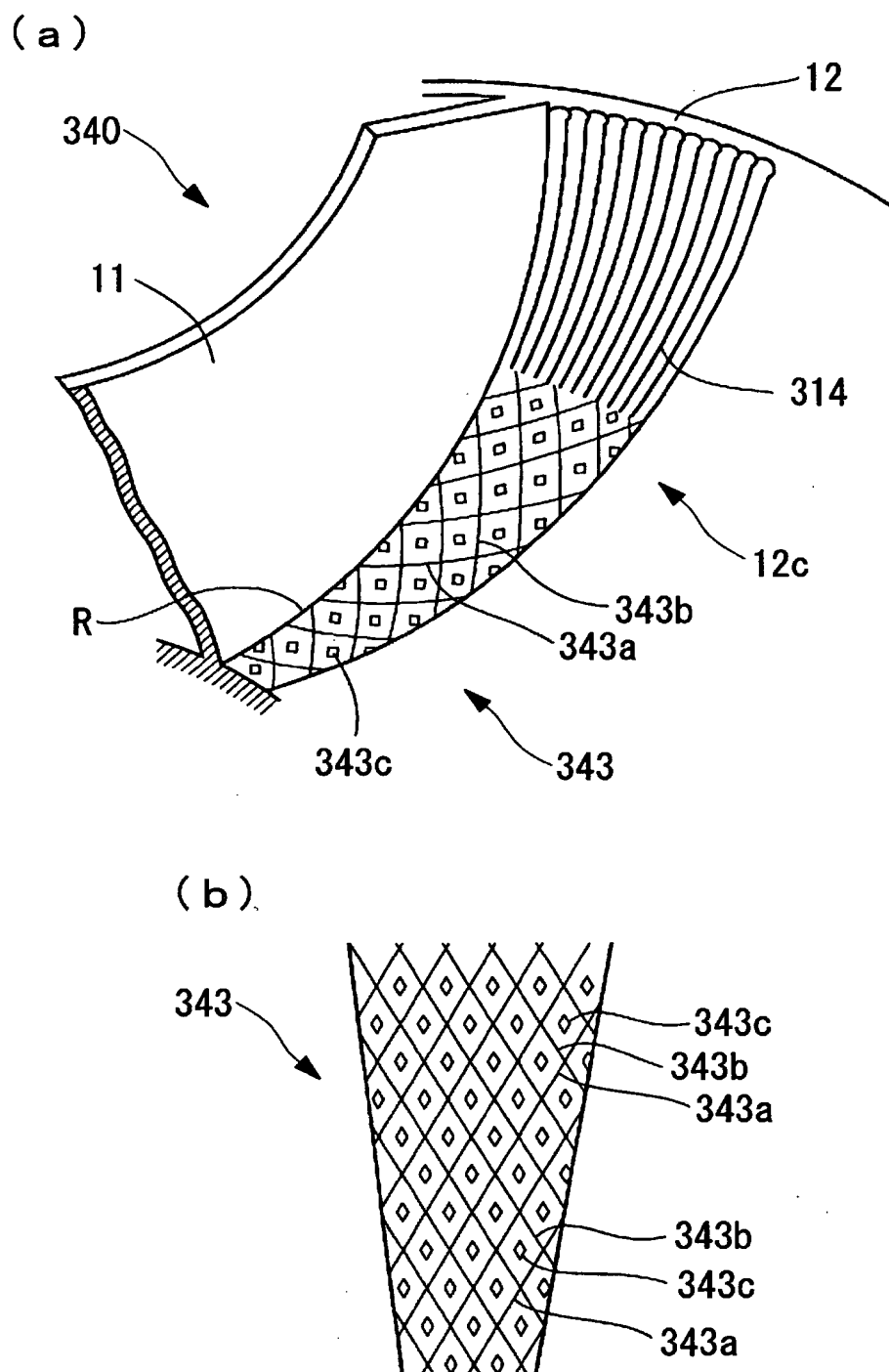
(a)



(b)

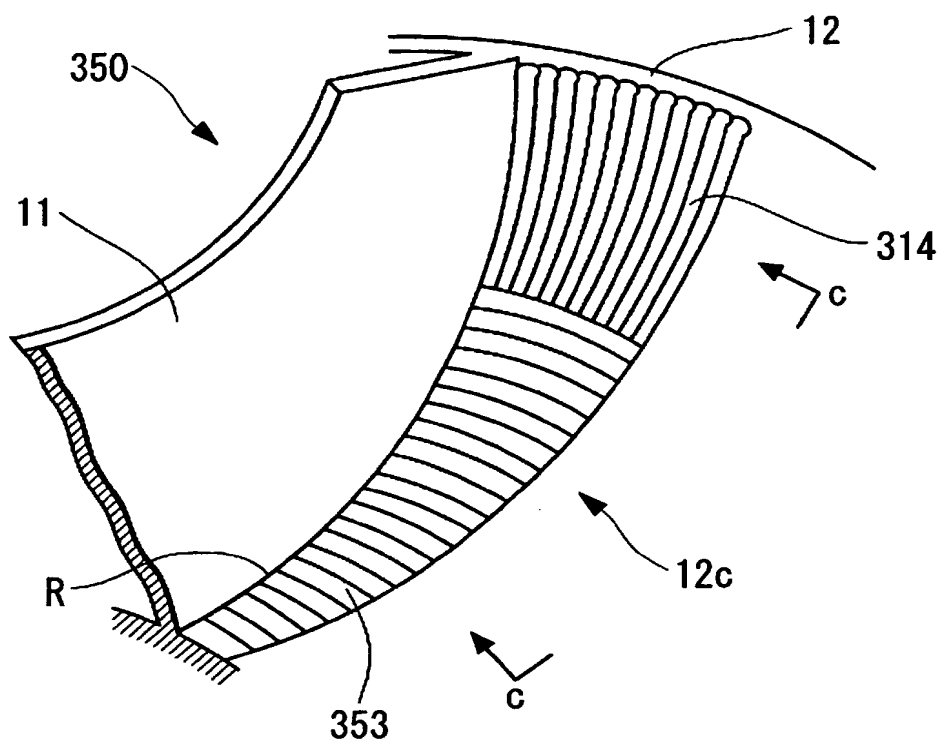


[図9]

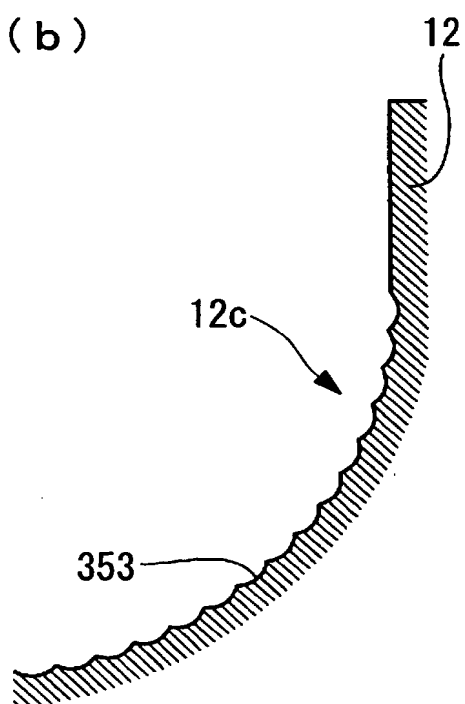


[図10]

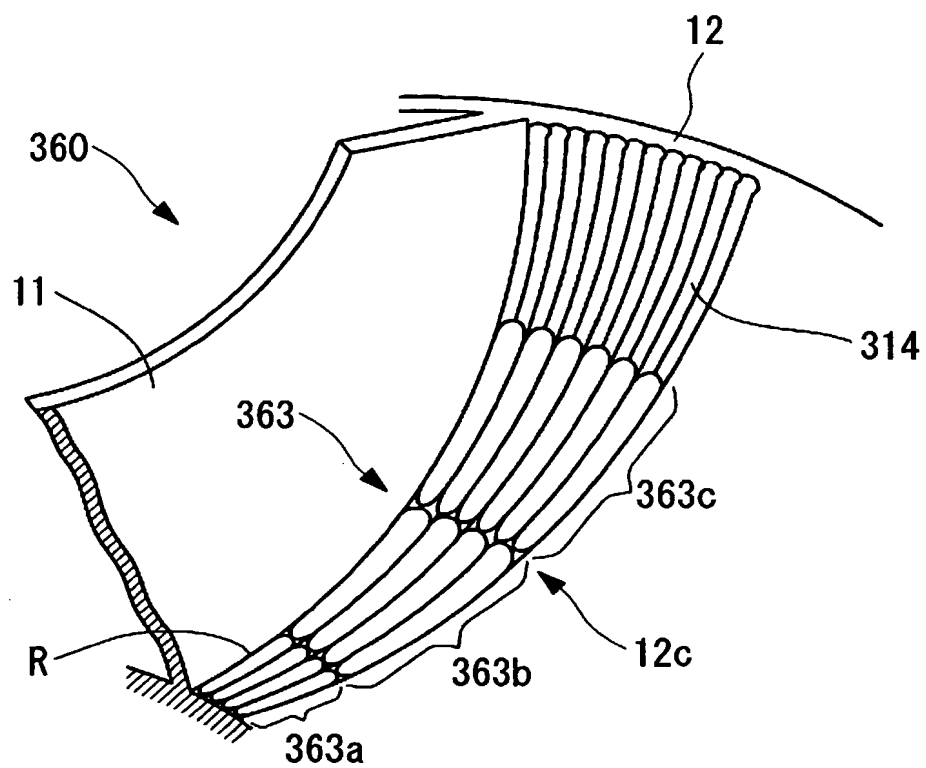
(a)



(b)

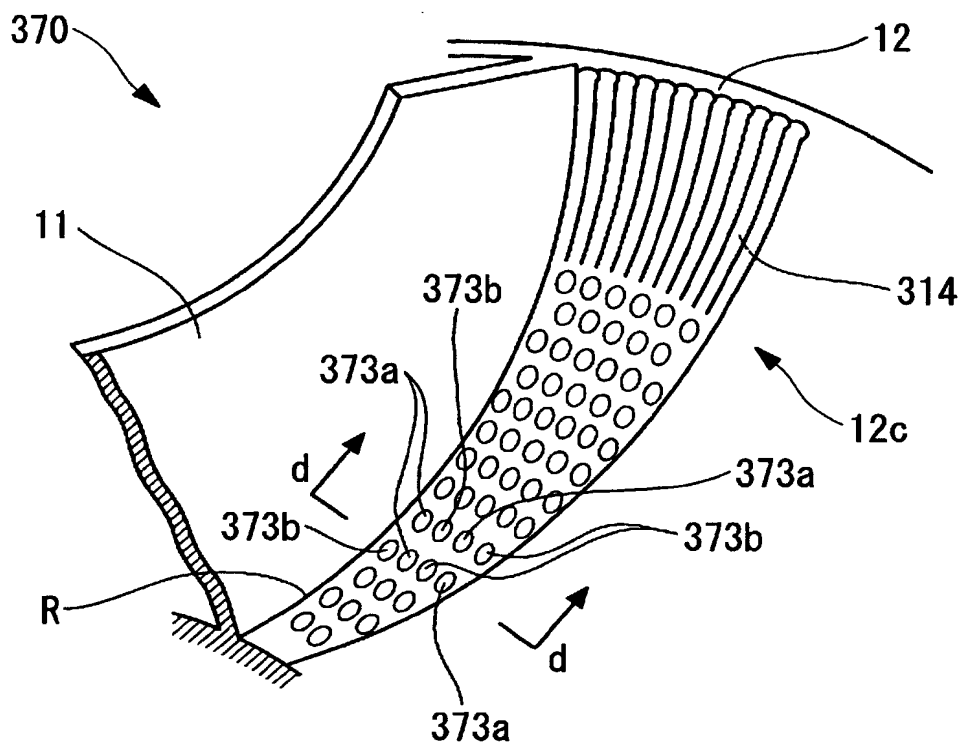


[図11]

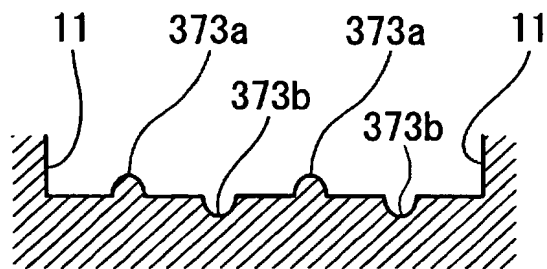


[図12]

(a)

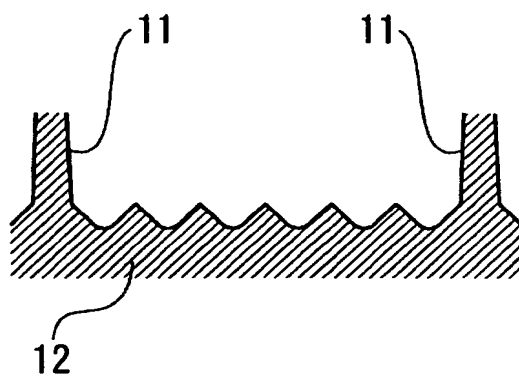


(b)

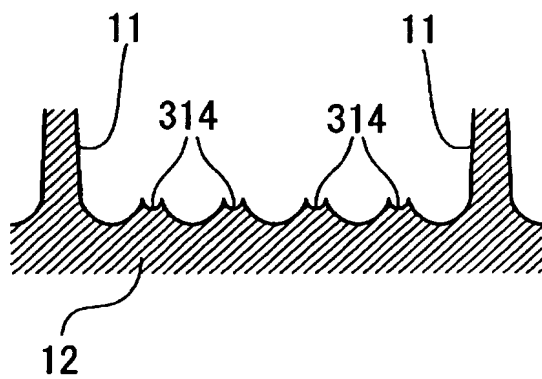


[図13]

(a)



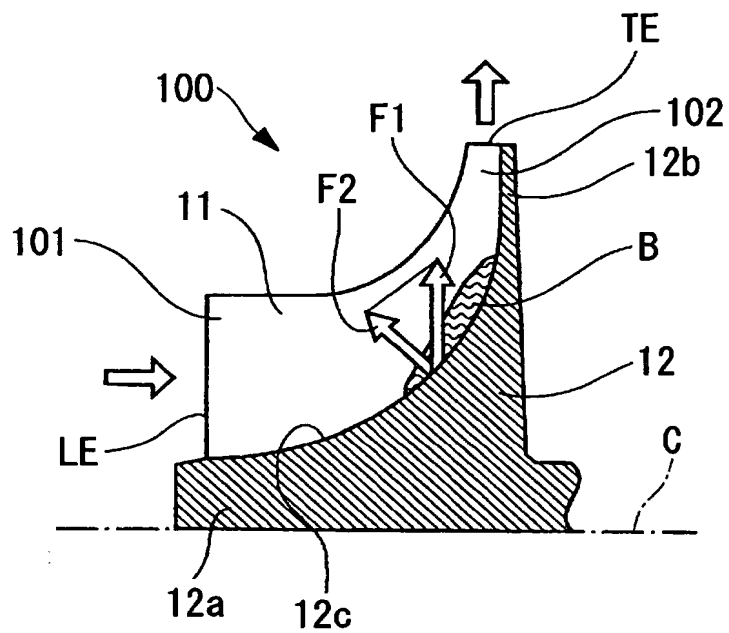
(b)



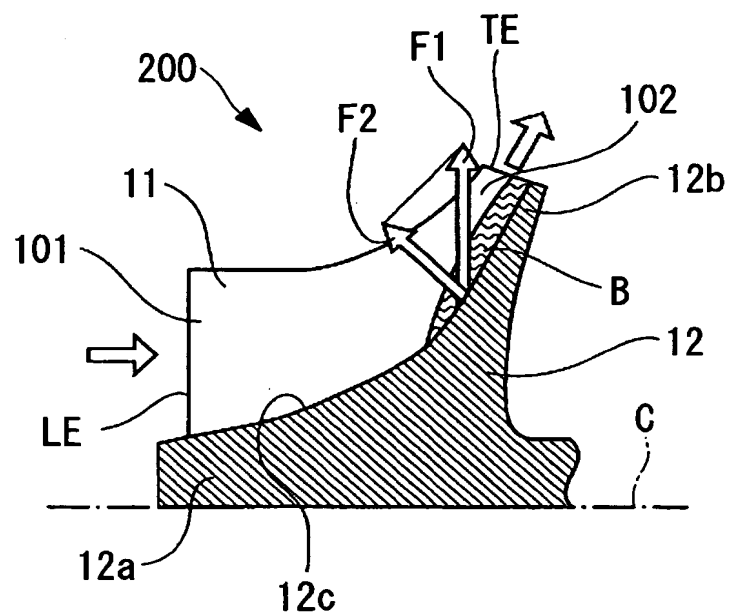


[図14]

(a)



(b)



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/017916

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> F04D29/28

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> F04D29/26-29/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 9-264296 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.),	1-5, 7-11, 28
Y	07 October, 1997 (07.10.97), Full text; Fig. 1 (Family: none)	6
Y	JP 2002-349488 A (Hitachi, Ltd.), 04 December, 2002 (04.12.02), Fig. 1 (Family: none)	6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
11 March, 2005 (11.03.05)

Date of mailing of the international search report  
29 March, 2005 (29.03.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/017916

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 89441/1988 (Laid-open No. 12096/1990) (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 25 January, 1990 (25.01.90), Fig. 1 (Family: none)	1-5, 8-11, 28
X	US 3069072 A (R.BIRMANN), 18 December, 1962 (18.12.62), Figs. 1 to 5 (Family: none)	1-2, 4, 8-11, 28

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/017916

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The matter common to the inventions of claims 1-28 is an impeller of a compressor, having blades and a hub provided at a root section of the blades and in which at least a part of that surface of the hub where a liquid flows is inclined relative to the rotation axis.

However, the search has revealed that the common matter above is disclosed in JP 9-264296 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 07 October, 1997 (07.10.97), full text, Fig. 1, and therefore the common matter is not a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence.  
(continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:  
Claims 1-11, and 28

**Remark on Protest**

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/017916

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

As a consequence, the inventions of claims 1-28 do not satisfy the requirement of unity of invention.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> F04D29/28

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> F04D29/26-29/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 9-264296 A (三菱重工業株式会社) 1997. 1 0. 07, 全文, 図1 (ファミリーなし)	1-5, 7- 11, 28
Y		6
Y	JP 2002-349488 A (株式会社日立製作所) 200 2. 12. 04, 図1 (ファミリーなし)	6
X	日本国実用新案登録出願63-89441号 (日本国実用新案登録 出願公開2-12096号) の願書に添付した明細書及び図面の内 容を記録したマイクロフィルム (三菱重工業株式会社) 1990. 01. 25, 第1図 (ファミリーなし)	1-5, 8- 11, 28

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11. 03. 2005

国際調査報告の発送日

29. 3. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

亀田 貴志

3T

3327

電話番号 03-3581-1101 内線 3394

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	US 3 0 6 9 0 7 2 A (R. B I R M A N N) 1 9 6 2. 1 2. 1 8, F I G. 1-5 (ファミリーなし)	1-2, 4, 8-11, 2 8

## 第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。  
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-28に係る発明の共通の事項は、複数枚のブレードと、これら複数枚のブレードの根本部に配置されるハブとを有し、流体が流れる前記ハブの表面の少なくとも一部が回転軸線に対して傾斜した圧縮機のインペラである。

しかしながら、調査の結果、前記共通の事項は、文献JP 9-264296 A (三菱重工業株式会社) 1997. 10. 07, 全文, 図1 に開示されているから、PCT規則13.2の第2文の意味において、前記共通の事項は特別な技術的特徴ではない。

よって、請求の範囲1-28に係る発明は発明の単一性の要件を満たしていないことが明らかである。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。  
請求の範囲1-11, 28

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。  
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。